

Perancangan & Pengujian Human Machine Interface untuk Pengoperasian Mesin CNC Mini

Maw'Izhah Al-Tsurayya^{1*}, Indra Hardian Mulyadi¹.

¹Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: indra@polibatam.ac.id

Abstrak— Penggunaan mesin *Computer Numerical Control* (CNC) dalam industri manufaktur menuntut ketersediaan *Human Machine Interface* (HMI) yang mudah dioperasikan, sementara perangkat lunak yang tersedia umumnya memiliki antarmuka yang kompleks sehingga menyulitkan operator dengan keterbatasan keahlian. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan dan memverifikasi keandalan HMI berbasis *Microsoft Visual C#* untuk pengoperasian mesin CNC mini yang lebih *user-friendly* dan informatif. Verifikasi dilakukan melalui pengujian dinamis berbasis spesifikasi menggunakan *State Transition Testing* yang mengacu pada standar dokumentasi pengujian ISO/IEC/IEEE 29119-3. Model pengujian dirancang mencakup 4 kondisi operasional (*states*), 7 transisi (*transitions*), 20 kasus uji (*test cases*), dan 4 prosedur pengujian (*test procedures*). Hasil pengujian menunjukkan dari total 20 kasus uji, sebanyak 15 kasus uji dinyatakan lulus (*pass*) dengan tingkat keberhasilan sebesar 75%, yang memverifikasi bahwa seluruh fungsi utama seperti koneksi, impor dan eksekusi *g-code*, *jog control*, *homing*, *emergency stop*, serta *editor g-code manual* telah beroperasi sesuai rancangan. Sebaliknya, ditemukan 5 kasus uji gagal (*fail*) yang seluruhnya berkaitan dengan skenario transisi kosong (*null transition*) akibat belum diterapkannya mekanisme *state-locking* pada beberapa tombol. Secara keseluruhan, HMI yang dikembangkan telah mampu mendukung pengoperasian mesin CNC mini secara fungsional, dengan rekomendasi penyempurnaan pada mekanisme penguncian status untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem sebelum diterapkan pada lingkungan operasional penuh.

Keyword: *Human Machine Interface, CNC Mini, Microsoft Visual C#, State Transition Testing, ISO/IEC/IEEE 29119-3.*

Abstract— The use of *Computer Numerical Control* (CNC) machines in the manufacturing industry necessitates a readily operable *Human Machine Interface* (HMI), whereas existing software commonly features complex interfaces that pose difficulties for operators with limited expertise. This study

aims to design, implement, and verify the reliability of a Microsoft Visual C# based HMI for mini CNC machine operation that is more user-friendly and informative. Verification was conducted through specification-based dynamic testing employing State Transition Testing, referring to the ISO/IEC/IEEE 29119-3 test documentation standard. The test model was designed to encompass 4 operational states, 7 transitions, 20 test cases, and 4 test procedures. The results indicate that, of the 20 test cases executed, 15 test cases passed, yielding a success rate of 75%, thereby verifying that all primary functions, namely connection, g-code import and execution, jog control, homing, emergency stop, and manual g-code editing, operated in accordance with the design. Conversely, 5 test cases failed, all of which were associated with null transition scenarios resulting from the absence of a state-locking mechanism on several control buttons. Overall, the developed HMI has proven capable of functionally supporting mini CNC machine operation, with recommendations for refining the state-locking mechanism to enhance system safety and reliability prior to full-scale operational deployment.

Keyword: *Human Machine Interface, CNC Mini, Microsoft Visual C#, State Transition Testing, ISO/IEC/IEEE 29119-3.*

I. INTRODUCTION

Perkembangan teknologi informasi dan komputer telah membawa pengaruh besar terhadap sektor manufaktur, salah satunya melalui integrasi sistem komputer ke dalam mesin perkakas produksi yang dikenal sebagai mesin *Computer Numerically Controlled* (CNC). Mesin CNC milling merupakan salah satu jenis yang paling banyak digunakan dalam industri karena mampu melakukan proses pemotongan, pahat, dan pengeboran material secara presisi melalui pengaturan gerak spindel dan sumbu mekanis (X, Y, Z) berdasarkan perintah G-code dan M-code.

Untuk menjembatani interaksi antara operator dan sistem kendali mesin, dibutuhkan perangkat lunak *Human Machine Interface* (HMI) yang berfungsi memproses perintah,

memvisualisasikan lintasan pahat (*toolpath*), dan mentransmisikan program numerik ke papan kendali. Namun demikian, perangkat lunak HMI populer seperti Mach3 dan *Universal Gcode Sender* (UGS) umumnya dikembangkan dengan fitur yang sangat kompleks, sehingga menyulitkan operator dengan keterbatasan sumber daya manusia yang mampu menguasai seluruh fiturnya secara optimal.

Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan HMI berbasis *Microsoft Visual C#* untuk pengoperasian mesin CNC mini yang menyederhanakan menu kontrol, namun tetap menyematkan fitur-fitur esensial sesuai kebutuhan operasional laboratorium. Mengingat HMI ini mengendalikan perangkat keras yang berisiko mengalami tabrakan sumbu mekanis, aspek keandalan fungsional dan keamanan transisi status perangkat lunak perlu diverifikasi secara ketat. Oleh karena itu, penelitian ini juga menerapkan pengujian dinamis berbasis spesifikasi menggunakan teknik *State Transition Testing* yang mengacu pada standar internasional dokumentasi pengujian perangkat lunak ISO/IEC/IEEE 29119-3, guna menjamin bahwa setiap perubahan kondisi antarmuka telah terverifikasi keandalannya sebelum diterapkan pada lingkungan operasional yang sesungguhnya.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana merancang HMI CNC mini yang *user-friendly* dan sesuai kebutuhan operasional, serta bagaimana mengimplementasikan dan menguji keandalan fungsionalnya menggunakan *State Transition Testing* berbasis ISO/IEC/IEEE 29119-3. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan HMI berbasis *Microsoft Visual C#* yang dilengkapi *g-code editor*, penampil koordinat *axis position*, sistem alarm/notifikasi status, dan pencatatan log operasional, serta melakukan pengujian perangkat lunak tersebut berdasarkan standar yang telah disebutkan. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada platform *windows*, fitur-fitur dasar HMI, serta pengujian secara *black-box* tanpa mencakup perombakan *source code* secara internal.

II. METODE

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang tersusun secara sistematis, yaitu studi literatur mengenai konsep HMI, mesin CNC, dan standar pengujian ISO/IEC/IEEE 29119-3; desain tata letak antarmuka grafis (GUI); implementasi kode program menggunakan *Microsoft Visual C#* untuk memproses input pengguna, logika penerjemah (*interpreter*) *g-code*, pembaruan koordinat secara *real-time*, serta komunikasi serial; integrasi perangkat lunak dengan mesin CNC mini melalui koneksi USB serial; dan diakhiri dengan pengujian software serta penyusunan laporan akhir. Fitur-fitur yang dirancang meliputi *g-code editor*, *run*, *emergency stop*,

axis position, *jog control*, *home*, *jog speed*, *export toolpath image*, *clear g-code*, *open g-code*, dan *connect*.

A. Model Pengujian

Verifikasi keandalan perangkat lunak dilakukan menggunakan metode *State Transition Testing*, yaitu teknik pengujian dinamis berbasis spesifikasi (*black-box testing*) yang berfokus pada evaluasi perubahan kondisi (*states*) sistem akibat masukan atau tindakan tertentu (*transitions*). Berdasarkan annex T standar ISO/IEC/IEEE 29119-3, perilaku HMI CNC mini dimodelkan ke dalam empat kondisi operasional, yaitu S1 (*disconnected*), S2 (*connected*), S3 (*g-code uploaded*), dan S4 (*executing g-code/input*), serta tujuh transisi pemicu yaitu T1 (*connect*), T2 (*import g-code*), T3 (*run file*), T4 (*run manual editor*), T5 (*stop/emergency interrupt*), T6 (*execution finished*), dan T7 (*manual command/jogging & homing*).

B. Spesifikasi Kasus Uji dan Prosedur Pengujian

Berdasarkan pemetaan transisi berhasil (*valid transitions*) dan transisi kosong (*null transitions*), disusun 20 kasus uji (*test case*) dengan kode HMI-CNC-01 hingga HMI-CNC-20 yang masing-masing memuat identifikasi unik, tujuan, prioritas, *pre-condition*, *input*, serta *expected result* sesuai kaidah annex I ISO/IEC/IEEE 29119-3. Seluruh kasus uji tersebut selanjutnya dikelompokkan ke dalam 4 prosedur pengujian (*test procedure*) mengacu pada annex J, yaitu TP-1 untuk pengujian pembentukan koneksi serial dan pemblokiran input pada kondisi *disconnected*; TP-2 untuk pengujian *jog control*, *jog speed*, *homing*, dan ketahanan tombol pada kondisi *connected*; TP-3 untuk pengujian siklus impor dokumen *g-code*, eksekusi otomatis, interupsi darurat, hingga penyelesaian program; serta TP-4 untuk pengujian eksekusi perintah manual melalui *g-code editor*.

Hasil eksekusi setiap kasus uji dicatat ke dalam log eksekusi pengujian (*test execution log*) mengacu pada annex Q, sedangkan setiap ketidaksesuaian antara hasil aktual dan hasil yang diharapkan didokumentasikan sebagai laporan kejadian (*incident/defect report*) mengacu pada annex R, yang memuat deskripsi temuan, kondisi pengamatan, tingkat keparahan (*severity*), prioritas, tingkat risiko, serta rekomendasi perbaikan (*troubleshoot*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

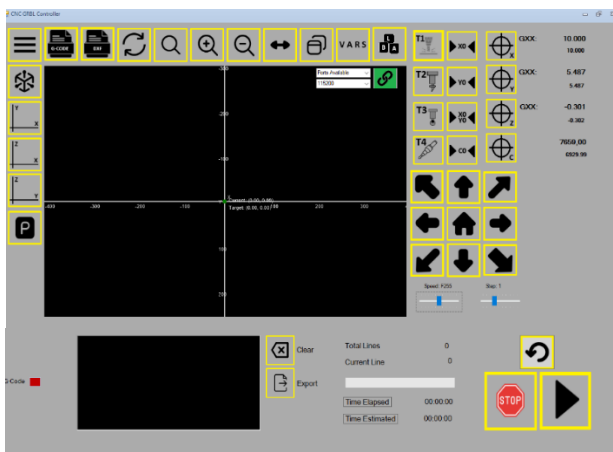
A. Produk

Hasil perancangan antarmuka HMI berbasis *Microsoft Visual C#* menghasilkan tata letak yang menempatkan komponen kendali utama secara proporsional, sehingga operator dapat mengakses fungsi koneksi, *g-code editor*, kendali manual (*jog control*), dan pemantauan posisi sumbu (*axis position*) dalam satu tampilan yang ringkas. Rancangan ini terintegrasi ke dalam 11 fitur esensial sebagaimana disajikan pada Tabel I.

TABEL I
FITUR ESENSIAL HMI CNC MINI

No	Fitur	Fungsi
1	G-Code Editor	Menulis dan mengedit g-code yang akan dijalankan
2	Run	Menjalankan program g-code
3	Emergency Stop	Menghentikan program secara mendadak.
4	Axis Position	Menampilkan posisi sumbu saat mesin berjalan.
5	Jog Control	Menggerakkan sumbu secara manual per arah.
6	Home	Mengembalikan posisi sumbu ke titik awal.
7	Jog Speed	Mengatur kecepatan gerak sumbu manual.
8	Export Toolpath Image	Mengekspor visualisasi g-code menjadi gambar
9	Clear G-Code	Menghapus seluruh g-code pada editor.
10	Open G-Code	Membuka dokumen g-code yang sudah ada.
11	Connect	Menghubungkan perangkat lunak dengan mesin CNC.

Desain tampilan *software* dapat dipelajari lebih lanjut melalui **Gambar 1**. *Software* ini dirancang untuk memberikan pengalaman pengguna yang intuitif sehingga ramah pengguna ketika diaplikasikan saat mengoperasikan CNC. Dengan antarmuka yang *user-friendly*, *software* ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap efisiensi operasional.



Gambar 1 Tampilan GUI HMI CNC

Komponen seperti *axis position* dan *export toolpath image* berfungsi memberikan umpan balik visual (*visual feedback*) yang meminimalkan kesalahan operator. Meskipun demikian, keandalan fitur secara keseluruhan sangat bergantung pada sejauh mana logika antarmuka mampu membatasi akses tombol pada kondisi status yang tidak tepat, sebagaimana dievaluasi pada tahap pengujian.

B. Hasil Pengujian State Transition Testing

Pengujian dilaksanakan melalui empat prosedur pengujian (TP-1 hingga TP-4) secara berkesinambungan. Dari total 20 kasus uji yang dieksekusi, 15 kasus uji (75%) dinyatakan lulus (*pass*), sedangkan 5 kasus uji (25%) dinyatakan gagal (*fail*). Seluruh kasus uji dengan status *pass* memverifikasi bahwa fungsi utama HMI, meliputi pembentukan koneksi serial, impor dan eksekusi g-code, kendali jog dan homing, penghentian darurat, serta eksekusi editor manual, telah beroperasi sesuai rancangan pada jalur transisi valid (T1-T7). Rekapitulasi kelima kasus uji gagal disajikan pada **Tabel II**.

TABEL II
REKAPITULASI LAPORAN KEJADIAN
(DEFECT REPORT)

Kode	Test ID	Ringkasan Temuan	Severity
LK-01	HMI-CNC-09	Tombol <i>import g-code</i> tidak diblokir pada kondisi <i>disconnect</i> (S1), sistem tetap menampilkan jendela unggah berkas.	Medium
LK-02	HMI-CNC-13	Penekanan ulang tombol <i>connect</i> saat status <i>connected</i> (S2) justru memutus koneksi (bukan diabaikan).	High
LK-03	HMI-CNC-15	Tombol <i>connect</i> memutus koneksi secara sepihak saat berkas <i>g-code</i> telah termuat (S3).	High
LK-04	HMI-CNC-17	Tombol <i>connect</i> tidak diblokir saat mesin sedang aktif mengeksekusi program/input (S4), beresiko memicu inisialisasi ulang serial.	Critical
LK-05	HMI-CNC-18	Tombol <i>import g-code</i> tidak diblokir saat mesin aktif mengeksekusi program (S4), beresiko menimpa memori data.	High

C. Pembahasan

Kelima temuan kegagalan (LK-01 hingga LK-05) secara konsisten menunjukkan pola permasalahan yang sama, yaitu

belum optimalnya mekanisme penguncian status (*state-locking*) pada tombol-tombol kontrol saat sistem berada pada kondisi yang seharusnya membatasi interaksi tertentu, khususnya pada status *connected* (S2), *g-code uploaded* (S3), dan *executing* (S4). Temuan LK-04 dan LK-05 menjadi perhatian utama karena berkaitan langsung dengan aspek keselamatan mekanis yaitu kegagalan pemblokiran tombol *connect* dan *import g-code* saat mesin sedang bergerak aktif berpotensi mengganggu jalur komunikasi serial maupun menyebabkan tabrakan sumbu mekanis atau kerusakan fisik alat pahat.

Dengan demikian, meskipun aspek fungsionalitas inti perangkat lunak yang mencakup transmisi perintah numerik, kendali manual, serta visualisasi koordinat *real-time* telah berjalan dengan presisi dan akurat, aspek penguatan validasi kondisi (*state validation*) pada level antarmuka masih memerlukan penyempurnaan. Perbaikan yang direkomendasikan meliputi penerapan *locking mechanism* yang lebih ketat pada tombol kritis, transformasi logika tombol *connect/disconnect* menjadi *toggle button*, penerapan *safety interlock* pada fungsi komunikasi serial selama proses pemotongan berlangsung, serta penambahan konfirmasi ganda sebelum instruksi pemutusan koneksi dieksekusi, guna meminimalkan risiko kesalahan operator (*human error*).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian dinamis terstruktur yang mengacu pada standar ISO/IEC/IEEE 29119-3, dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak *Human Machine Interface* (HMI) untuk pengoperasian mesin CNC mini telah berhasil dirancang menggunakan *Microsoft Visual C#* dan mampu memenuhi kebutuhan fungsional utama, meliputi pengiriman berkas *g-code*, eksekusi teks manual melalui editor, kendali manual posisi (*jog control*), regulasi kecepatan (*jog speed*), visualisasi lintasan pahat (*toolpath*), serta pemantauan koordinat *axis position* secara *real-time*.

Penerapan metode *State Transition Testing* terhadap model yang terdiri atas 4 kondisi operasional dan 7 transisi berhasil memverifikasi tingkat keberhasilan fungsionalitas murni sebesar 75% (15 dari 20 kasus uji). Proses verifikasi juga berhasil mengidentifikasi 5 kegagalan fungsional yang seluruhnya berkaitan dengan penanganan transisi kosong (*null transitions*), dengan temuan paling kritis terjadi pada kondisi *executing* (S4), yaitu belum terblokirnya tombol *connect* dan *import g-code* saat mesin sedang bergerak aktif, yang berpotensi memicu risiko keselamatan mekanis. Oleh karena itu, penyempurnaan mekanisme penguncian status (*state-locking*) dan validasi kondisi pada level antarmuka menjadi rekomendasi utama untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem sebelum HMI ini diimplementasikan secara penuh pada lingkungan operasional produksi.

REFERENCES

- [1] Prisantono, P., Herdantyo, T., Nugroho, D. T., Ramadhani, Y., & Mubyarto, A. (2018). Desain dan simulasi sistem HMI (Human Machine Interface) berbasis Citect SCADA pada konveyor proses di industri. Prosiding Seminar Nasional & Internasional, 1(1).
- [2] Purtojo, S. T., & Putra, T. S. (2011). Rancang bangun konstruksi mesin CNC berbiaya rendah.
- [3] Fajar, M., Kurniawati, Z., & Herianto, A. (2019). Rancangan simulasi approach lighting system bandar udara menggunakan Microsoft Visual Studio 2015 di Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia. Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi, 12(1), 109-116.
- [4] Buana, Z., Candra, O., & Elfizon. (2019). Sistem pemantauan tanaman sayur dengan media tanam hidroponik menggunakan Arduino. Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, 5(1), 74-80.
- [5] Fauzan, M. N., & Adiputri, L. C. (2020). Tutorial membuat prototipe prediksi ketinggian air (PKA) untuk pendeteksi banjir peringatan dini berbasis IoT (Vol. 1). Kreatif.
- [6] Salim, A., & Rusdiansyah, R. (2025). Implementasi black box testing pada website e-commerce Shopee menggunakan State Transition Testing. Jurnal Informatika dan Bisnis, 13(2), 161-170.
- [7] Pramudijanto, J. (2012). Sistem pengaturan gerakan tool pada prototipe mesin CNC dengan controller disturbance observer. Jurnal Teknik POMITS, 1(1), 1-6.
- [8] Harrizal, I. S., Syafri, S., & Prayitno, A. (2017). Rancang bangun sistem kontrol mesin CNC milling 3 axis menggunakan close loop system (Doctoral dissertation). Universitas Riau.
- [9] Fauzan, A., Soegiharto, H., Prasetyawan, A. T., & Zain, A. I. (2019). Perancangan mesin plotter batik berbasis Computer Numerical Control (CNC). Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA), 139-151.
- [10] International Organization for Standardization. (2021). ISO/IEC/IEEE 29119-3:2013/2021 - Software and systems engineering - Software testing - Part 3: Test documentation.